

И. Ю. Мелекестева, В. В. Зайков, С. Г. Тесалина, Т. Оже

**ХРОМШПИНЕЛИДЫ В СУЛЬФИДНЫХ РУДАХ
СРЕДИ УЛЬТРАМАФИТОВ ГЛАВНОГО
УРАЛЬСКОГО РАЗЛОМА**

I. Yu. Melekestseva, V. V. Zaykov, S. G. Tesalina, T. Auge

**CHROME-SPINELIDE IN SULPHIDE ORES IN ULTRAMAFITES
OF THE MAIN URALS FAULT**

Chrome-spinelide in sulphide ores of Ishkininskoe, Ivanovskoe and Dergamyshskoe sulphide deposits in ultramafites of the Main Urals Fault were studied. Chrome-spinelide in sulphide ores of Ishkininskoe and Ivanovskoe deposits are similar to each other and gravitate to formulae of chromites $(\text{Fe}^{2+}_{0.62}\text{Mg}_{0.38})(\text{Cr}_{1.35}\text{Al}_{0.52}\text{Fe}^{3+}_{0.15})_2\text{O}_4$ by Fe^{3+} content. Chrome-spinelide from ores of Dergamyshskoe sulphide deposit have the increased contents of magnesium and correspond to ferrichromepicotite $(\text{Mg}_{0.63}\text{Fe}^{2+}_{0.37})(\text{Cr}_{1.14}\text{Al}_{0.68}\text{Fe}^{3+}_{0.18})_2\text{O}_4$. A lot of chrome-spinelid crystals have a magnetite rim, sometimes there are big places of tabular and irregular forms that are characterized by increased contents of FeO and corresponding to $(\text{Fe}^{2+}_{0.88}\text{Mg}_{0.11})_{0.99}(\text{Cr}_{1.41}\text{Fe}^{3+}_{0.55}\text{Al}_{0.04})_2\text{O}_4$.

Possibly, we can talk about a special generation of chrome-spinelide that have formed in the process of sulphide-forming. The interrelations of chrome-spinelids with pyrite and chalcopyrite, situated in the zones of growth in chrome-spinelids, testify it.

Chrome-spinelide in sulphide ores of Dergamyshskoe deposit are practically unchanged, there is a small quantity of them and they contain the increased content of Mg. Perhaps, it can be explained by the lower level of transformation of this deposit.

The researches were carried out by financial support of Russian Fund of Fundamental Investigation (RFFI, grant № 01-05-65329).

В ультрамафитах Урала в зоне Главного Уральского разлома известны Ишкининское, Ивановское и Дергамышское медно-кобальтовые месторождения [3]. Рудоносные зоны этих месторождений по данным Э. С. Бучковского, А. А. Захарова, К. Д. Субботина, В. Т. Тищенко приурочены к контактам серпентинитов и габброидов с силурийскими базальтами, либо к горизонтам серпентинитовых брекчий. Одной из особенностей руд этих месторождений является ассоциация хромитов и сульфидов (пирротина, халькопирита, пирита, кобальтина, никелина, арсенопирита).

Если по сульфидам и минералам никеля и кобальта была получена некоторая информация [2], то о минералах хрома данных нет. Хромшпинелиды изучались микроскопическим и микронзондовым методами (микронзонд JEOL JXA-733, аналитик Е. И. Чурин, Институт минералогии УрО РАН; микронзонд JEOL JXA-8900RL, аналитик К. Беккер, Фрайбергская горная академия, Германия; микронзонд Cameca SX-50, аналитик К. Жиль, BRGM, Франция) из различных типов руд и серпентинитовой массы в рудах. Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ (№ 01-05-65329), MinUrals № ICA2-1999-10022 .

Ишкинское месторождение располагается в 20 км западнее г. Гай и приурочено к антиформе из тектонических пластин, сложенных серпентинитами, углеродистыми силицитами и толеитовыми базальтами [2, 4].

Авторами были отобраны образцы из отвалов разведочных шурфов восточной рудной зоны Ишкининского месторождения, которые характеризуют три разновидности руд: пирит-пирротиновую, халькопирит-пирит-пирротиновую и пирротин-халькопирит-кобальтин-арсенопиритовую. Особенностью месторождения являются повышенные содержания Ni (0.26 %), Co (до 3 %) и Cr (0.36 %) в рудах.

Текстуры пирит-пирротиновых руд — массивная, брекчиевидная и пятнистая. Сложены агрегатами пластинчатого пирротина с вкрапленниками халькопирита, метакристаллами арсенопирита, жилками пирита, магнетита, нерудных минералов. Идиоморфные кристаллы хромшпинелидов находятся в пирротине (рис. 1), имеют внешнюю магнетитовую оторочку (Mt) (табл. 1) и соответствуют составу $(\text{Fe}^{2+}_{0.60}\text{Mg}_{0.41})_{1.01}(\text{Cr}_{1.42}\text{Al}_{0.45}\text{Fe}^{3+}_{0.13})_2\text{O}_4$.

Халькопирит-пирит-пирротиновые руды отличаются обилием прожилков и гнезд халькопирита, при присутствии арсенопирита, пирита, пентландита, виоларита.

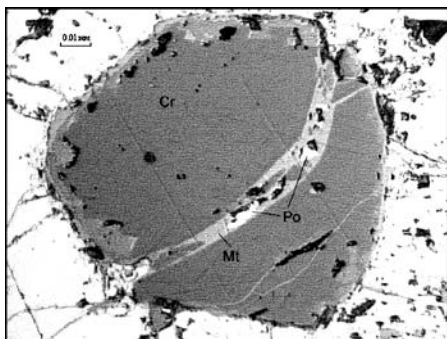


Рис. 1. Хромшпинелид в пирит-пирротиновой руде (Cr — хромит, Po — пирротин, Mt — магнетит).

Таблица 1

Химический состав хромшпинелидов из руд Ишкининского медно-кобальтового месторождения по данным рентгено-спектрального анализа

Анализируемый материал	№ аншлифа	Число зерен/ число анализов	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MgO	MnO	V ₂ O ₃	NiO	CoO	Сумма
1. Cr ₁ в пирит-пирротиновой руде	2	2/7	11.47	52.44	0.26	25.94	8.06	0.35	0.28	0.04	0.02	98.87
2. Cr ₁ в халькопирит-пирит-пирротиновой руде	a) 4a	7/10	12.57	51.11	0.31	26.58	8.22	0.36	0.27	0.05	0.02	99.49
	b) 610-21b	1/3	12.04	48.72	0.40	31.06	6.22	0.37	0.26	0.05	0.06	99.18
	c) 610-1a	2/6	11.14	52.34	0.35	28.15	6.43	0.41	0.23	0.06	0.04	99.12
3. Cr ₁ в пирротин-халькопирит-кобальтин-арсенопиритовой руде	a) 15	4/10	13.91	53.07	0.24	21.94	9.91	0.33	0.18	0.04	0.02	99.64
	b) 610-21a	2/8	12.46	50.67	0.33	28.04	8.16	0.37	0.27	0.05	0.06	100.39
	c) 610-21a*	3/9	11.93	48.32	0.31	32.93	5.20	0.39	0.29	0.10	0.23	99.70
4. Cr ₁ в серпентинитовой массе в руде	a) 610-1a	2/7	11.97	53.65	0.30	27.02	7.41	0.35	0.23	0.06	0.03	101.01
	b) 610-21b	2/3	12.60	48.49	0.37	31.40	5.54	0.35	0.34	0.05	0.07	99.21
5. Cr ₂	15	4/9	1.36	48.01	0.35	46.35	2.14	0.45	0.24	0.05	0.01	98.96
6. Mt	15, 4a, 2, 610-1a	7/13	0.01	1.69	0.02	95.71	0.42	0.26	0.03	0.07	0.05	98.25

Примечание: анализы выполнены на микрозондовом анализаторе JEOL JСХА-733 (Имин УрО РАН). Аналитик Е. И. Чурин.

* — анализы хромшпинелидов, находящихся в кристаллах кобальтина. Усл. обозн. см. в тексте.

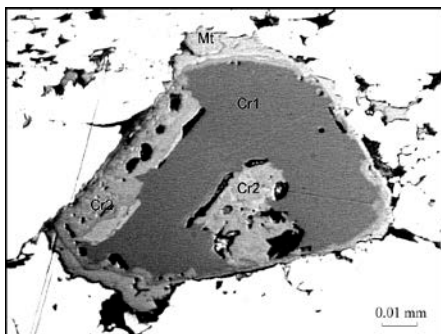
Хромшпинелиды (Cr_1) находятся в матрице из халькопирита, некоторые зерна имеют аналогичную магнетитовую оторочку и соответствуют составу $(Fe^{2+}_{0.66}Mg_{0.35})_{1.01}(Cr_{1.35}Al_{0.49}Fe^{3+}_{0.16})_2O_4$. Внутри и по периферии кристаллов наблюдаются относительно крупные выделения таблитчатых и причудливых очертаний, характеризующиеся повышенными содержаниями FeO (Cr_2) и соответствующие составу $(Fe^{2+}_{0.88}Mg_{0.11})_{0.99}(Cr_{1.41}Fe^{3+}_{0.55}Al_{0.04})_2O_4$ (рис. 2) (табл. 1).

Пирротин-халькопирит-кобальтин-арсенопиритовые руды сложены кристаллическими агрегатами кобальтина и арсенопирита с полосами халькопирита и пирротина. В этой разновидности наблюдаются зерна хромшпинелидов, заключенные в кристаллах кобальтина и образующие полосовидные скопления на границе кобальтина и халькопирита. В матрице, представленной агрегатом халькопирита, пирротина и пирита, наблюдаются хромшпинелиды (Cr_1), соответствующие составу $(Fe^{2+}_{0.62}Mg_{0.38})(Cr_{1.35}Al_{0.52}Fe^{3+}_{0.15})_2O_4$, которые также имеют магнетитовую оторочку (Mt) и специфические включения Cr_2 .

Хромшпинелиды в серпентинитовой массе в руде также имеют магнетитовую оторочку и соответствуют составу $(Fe^{2+}_{0.68}Mg_{0.32})(Cr_{1.37}Al_{0.48}Fe^{3+}_{0.15})_2O_4$.

Большинство изученных кристаллов идиоморфны, имеют октаэдрический габитус, в отраженном свете Cr_1 и Cr_2 отличаются по отражению (у Cr_2 отражение выше, чем у Cr_1 , но меньше Mt). Микротвердость хромшпинелидов — 1224—1483 кг/мм², среднее из 11 измерений — 1380 кг/мм², что соответствует справочной микротвердости 1100—1390 кг/мм². Однако, с ростом содержания Al (что наблюдается в изучаемых хромшпинелидах) и Mg, микротвердость увеличивается до 1480 кг/мм² [9].

По спектру отражения хромита из халькопирит-пирит-пирротиновой руды и с помощью компьютерной программы CISMMI



(Computer Information System for Microscopic Mineral Identification) построены спектральные кривые отражения хромита

Рис. 2. Хромшпинелид в халькопирит-пирит-пирротиновой руде.

Фазы: Cr1, Cr2, Mt (пояснения в тексте)

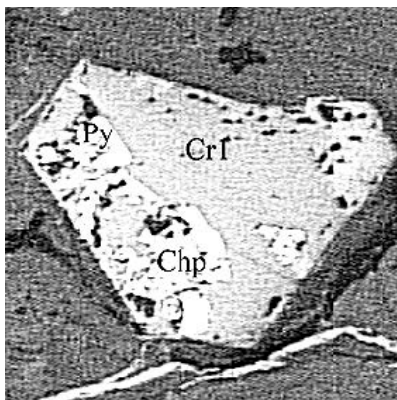


Рис. 3. Хромшпинелиды с развитыми в них по зонам роста сульфидами:

(Py — пирит, Chp — халькопирит), CrI — хромшпинелид, главная фаза

Ишкининского месторождения и имеющихся в базе данных программы хромитов (рис. 3) (основная база данных составлена по [9]). Как видно из графика, кривая спектра отражения хромита

Ишкининского месторождения (пунктирная линия) лежит ниже двух других кривых. Профили спектров отражения близки к горизонтальным, характерен слабо выраженный широкий максимум в сине-зеленой области спектра. Отражение хромита сильно понижается с ростом содержания Al и менее сильно с ростом Mg [9]. Содержание Al_2O_3 в изученном хромите составляет 11.14—13.91 %, что выше, чем в хромитах из базы данных (11.49 % в хромите с точечной кривой и 9.28 % в хромите со сплошной кривой на рис. 3).

Результаты химического анализа (табл. 1) показали следующие вариации содержаний основных компонентов в хромшпинелидах из руды и серпентинитовой массе в руде: Cr_2O_3 48.32—53.65 %, FeO 21—31 %, Al_2O_3 11.14—13.91 %, MgO 5.20—9.91 %. Отмечаются повышенные (на порядок) содержания NiO и CoO (0.10 % и 0.23 % соответственно) в хромшпинелидах, заключенных в кобальтине. Светло-серые выделения в хромшпинелидах отличаются приблизительно равными содержаниями Cr_2O_3 и FeO — 48.01 % и 46.35 % соответственно. Химический состав оторочки кристаллов (95.71 % FeO) соответствует магнетиту (табл. 1, 2). В одном зерне хромшпинелида были обнаружены повышенные содержания титана (0.53 %), который распределяется по самому краю кристалла хромшпинелида.

Интересны находки хромшпинелидов с развитыми в них по зонам роста сульфидами (рис. 4), что может свидетельствовать о существовании 2-ой генерации хромшпинелидов, кристаллизовавшихся в процессе сульфидообразования.

Магнетитовая оторочка в хромшпинелидах может свидетельствовать об аллометаморфической серпентинизации (хризолитизации, антигоритизации) гипербазитов. Такая же кайма мо-

Кристаллохимические и минеральные формулы хромшпинелидов

Формула	Хро- мит	Магне- зиохро- мит	Герци- нит	Магне- тит
1. $(\text{Fe}^{2+}_{0.60}\text{Mg}_{0.41})_{1.01}(\text{Cr}_{1.42}\text{Al}_{0.45}\text{Fe}^{3+}_{0.15})_2\text{O}_4$	30 %	41 %	23 %	6 %
2.a) $(\text{Fe}^{2+}_{0.59}\text{Mg}_{0.40})_{0.99}(\text{Cr}_{1.37}\text{Al}_{0.48}\text{Fe}^{3+}_{0.15})_2\text{O}_4$	28 %	40 %	24 %	8 %
b) $(\text{Fe}^{2+}_{0.69}\text{Mg}_{0.31})_{1.01}(\text{Cr}_{1.32}\text{Al}_{0.49}\text{Fe}^{3+}_{0.19})_2\text{O}_4$	35 %	31 %	25 %	9 %
c) $(\text{Fe}^{2+}_{0.68}\text{Mg}_{0.33})_{1.01}(\text{Cr}_{1.39}\text{Al}_{0.49}\text{Fe}^{3+}_{0.12})_2\text{O}_4$	37 %	33 %	25 %	5 %
3.a) $(\text{Fe}^{2+}_{0.49}\text{Mg}_{0.50})_{0.99}(\text{Cr}_{1.35}\text{Al}_{0.54}\text{Fe}^{3+}_{0.11})_2\text{O}_4$	23 %	45 %	27 %	5 %
b) $(\text{Fe}^{2+}_{0.64}\text{Mg}_{0.36})_{1.01}(\text{Cr}_{1.34}\text{Al}_{0.49}\text{Fe}^{3+}_{0.17})_2\text{O}_4$	31 %	35 %	25 %	9 %
c) $(\text{Fe}^{2+}_{0.74}\text{Mg}_{0.27})_{1.01}(\text{Cr}_{1.31}\text{Al}_{0.49}\text{Fe}^{3+}_{0.20})_2\text{O}_4$	39 %	27 %	25 %	9 %
4.a) $(\text{Fe}^{2+}_{0.76}\text{Mg}_{0.26})_{1.02}(\text{Cr}_{1.40}\text{Al}_{0.48}\text{Fe}^{3+}_{0.12})_2\text{O}_4$	34 %	36 %	24 %	6 %
b) $(\text{Fe}^{2+}_{0.71}\text{Mg}_{0.29})_{1.02}(\text{Cr}_{1.32}\text{Al}_{0.49}\text{Fe}^{3+}_{0.19})_2\text{O}_4$	37 %	29 %	25 %	9 %
5. $(\text{Fe}^{2+}_{0.88}\text{Mg}_{0.11})_{0.99}(\text{Cr}_{1.41}\text{Al}_{0.55}\text{Fe}^{3+}_{0.04})_2\text{O}_4$	59 %	11 %	2 %	28 %
6. $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$				100 %

Примечание: порядковые номера соответствуют указанным в табл. 1.

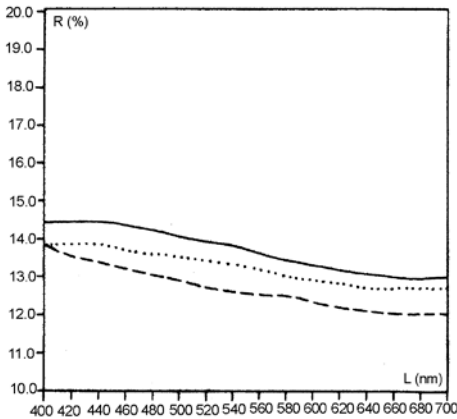


Рис. 4. Спектры отражения хромита из руд Ишкининского месторождения и хромитов из базы данных CISSMI

жет образовываться при кристаллизации железо-никелевых расплавов: так объясняется образование магнетитовой каймы на хромшпинелидах из сульфидно-никелевых месторождений Западной Австралии [8].

Состав хромшпинелидов руд Ишкининского месторождения, в целом, соответствует составу хромшпинелидов из поля гипербазитов дунит-перидотитовой формации, причем фаза Cr_2 образует собственное поле (рис. 5). Однако, одной из главных особенностей хромшпинелидов альпинотипных гипербазитов является постоянное преобладание MgO над FeO [6], что не соответствует изученным хромшпинелидам. По содержанию основных компонентов они близки к хромшпинелидам из Таловского массива серпентинизированных ультраосновных пород (Главный

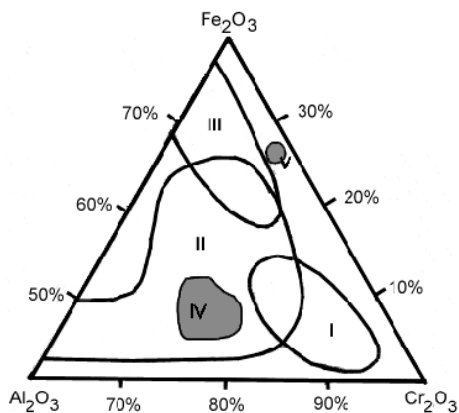


Рис. 5. Составы хромшпинелидов магматических пород в системе $Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Cr_2O_3$ (мас. %) по [7]:

Поля распространения составов минералов из: I — алмазов, сростаний с ними, гипербазитовых включений; кимберлитов каменных метеоритов; II — гипербазитов дунит-перидотитовой и III — дунит-клинопироксенит-габбровой и щелочно-ультрамафической формаций; IV — руд и пород Ишкининского месторождения; V — включений в хромшпинелидах

Уральский разлом) и хромитам из серпентинитов рудника Хироса (Япония) [1].

Ивановское месторождение находится на южном фланге Главного Уральского разлома западнее Бурибайского рудного района. Месторождение приурочено к Байгускаровскому гипербазитовому массиву, который меланжирован и содержит блоки силурийских и девонских отложений. Рудоносные зоны Ивановского месторождения, по данным Э. С. Бучковского и А. А. Захарова, приурочены либо к контактам серпентинитов и габброидов с силурийскими базальтами, либо к горизонтам серпентинитовых брекчий. Руды, залегающие в метасоматитах по серпентинитам и габбро, имеют пирит-халькопирит-пирротиновый и халькопирит-пирротиновый состав.

Хромшпинелиды в рудах Ивановского месторождения образуют идиоморфные зерна октаэдрического габитуса часто со структурами разбитой тарелки, размером до 0.5 мм. Часто группируются в цепочки, нередко входят в состав нерудных прожилков. В одном зерне хромшпинелида обнаружено включение пирротина, который гаснет одинаково с вмещающей пирротиновой матрицей. По периферии хромшпинелиды иногда замещаются магнетитом. Состав хромшпинелидов (табл. 3) соответствует составу $(Fe^{2+}_{0.50}Mg_{0.50})(Cr_{1.48}Al_{0.52}Fe^{3+}_{0.01})_{2.01}O_4$.

Дергамышское месторождение расположено также в Байгускаровском ультрабазитовом массиве в 9 км южнее Ивановского рудного поля в зоне Главного Уральского разлома. В геологическом строении рудного поля принимают участие

тектонические пластины, сложенные серпентинитами, базальтами и вулканогенно-осадочными породами силура и девона.

Таблица 3

**Химический состав хромшпинелидов из руд Ивановского
медно-кобальтового месторождения по данным
рентгеноспектрального анализа**

№ п/п	Cr ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	V ₂ O ₃	MnO	NiO	Сумма
1	57.77	17.97	12.77	10.35	0.25	0.28	0.13	99.66
2	57.08	19.87	12.24	8.79	0.24	0.21	0.65	99.32
3	57.99	16.86	12.74	10.99	0.30	0.36	0.00	99.30
4	57.47	17.10	12.64	10.37	0.33	0.33	0.15	98.55
5	57.08	17.81	13.26	10.51	0.25	0.14	0.17	99.30
6	58.28	17.38	12.04	11.26	0.15	0.35	0.00	99.37
7	58.06	16.72	11.88	11.32	0.15	0.18	0.48	99.01
8	54.76	17.70	15.63	10.41	0.27	0.23	0.14	99.25
9	53.01	19.05	15.78	10.11	0.08	0.35	0.28	99.08
10	53.42	19.00	15.90	10.01	0.22	0.28	0.20	99.14
11	59.81	18.18	10.26	10.53	0.07	0.32	0.00	99.48
12	60.02	18.48	10.17	10.16	0.09	0.19	0.43	99.83
13	56.22	20.72	12.43	8.90	0.16	0.47	0.27	99.57
Среднее	57.00	18.22	12.90	10.29	0.20	0.28	0.22	99.30

Примечание: анализы выполнены на микрозондовом анализаторе Camebax SX-50 (BRGM, Франция). Аналитик К. Жиль

Руды — пирит-марказитового состава с халькопиритом, массивными пирротин-пиритовыми и подчиненными магнетит-гематитовыми разностями в основании залежи.

Кристаллы хромшпинелидов изометричной формы были встречены в прожилково-вкрапленных пиритовых рудах в небольшом количестве, что, вероятно, связано с наименьшей степенью преобразования самого Дергамышского месторождения. Они соответствуют составу $(Mg_{0.63}Fe_{0.37}^{2+})(Cr_{1.14}Al_{0.68}Fe_{0.18}^{3+})_2O_4$. В них отмечаются повышенные содержания Ti (до 0.55%) (табл. 4).

Выводы

Хромшпинелиды в рудах из представленных трех месторождений обладают в большей мере сходными чертами и по содержанию Fe^{2+} тяготеют к составу хромита, лишь хромшпинелиды

ды из руд Дергамышского месторождения более магниевые и соответствуют феррихромпикотиту [5]. Скорей всего, это можно

Таблица 4

**Химический состав хромшпинелидов из руд Дергамышского
медно-кобальтового месторождения по данным
рентгено-спектрального анализа**

№ аншлифа	Cr ₂ O ₃	MgO	V ₂ O ₅	NiO	TiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CoO	MnO	Сумма
19	45.07	14.32	0.17	0.06	0.55	21.20	20.07	0.06	0.21	101.71
17	46.14	12.85	0.14	0.06	0.55	20.86	17.70	0.06	0.15	98.50
18	45.96	12.92	0.18	0.15	0.43	21.29	17.92		0.14	99.00
Среднее	45.72	13.36	0.16	0.09	0.51	21.12	18.56	0.06	0.17	99.74

Примечание: анализы выполнены на микрозондовом анализаторе JEOL JXA-8900RL (Фрайбергская горная академия, Германия), аншлиф D1/53.6-3-2. Аналитик К. Беккер.

объяснить наименьшей степенью преобразования сульфидных руд этого месторождения, т. к. при процессах выветривания магний из хромшпинелидов частично выносятся [5].

Исходя из того, что содержания Al и Mg в хромитах из руд Ивановского и Дергамышского месторождений гораздо выше, чем в хромитах Ишкининского месторождения, можно предположить, что отражение у них будет ниже, причем у хромитов из Дергамышского месторождения — отражение самое низкое (из-за самого высокого содержания Al₂O₃, составляющего 17.70—20.07 %).

По некоторым особенностям взаимоотношений хромшпинелидов с сульфидами можно предположить существование второй генерации хромшпинелидов, которые кристаллизовались в процессе судьфидообразования.

Авторы благодарят за плодотворные консультации к. г.-м. н. Е. В. Белогуб и к. г.-м. н. К. А. Новоселова, а также Е. И. Чурина, К. Беккера и К. Жилия за выполнение микрозондовых анализов.

Литература

1. Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы // Москва: Мир, 1966. 407с.

2. Зайков В. В., Випфлер Э., Беккер К., Бушман Б. Пирротиновые и золото-арсенопиритовые руды Ишкининского месторождения (Главный

Уральский разлом) // *Металлогения древних и современных океанов*–99. Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. С. 92–95.

3. *Зайков В. В., Тесалина С. Г., Мелекесцева И. Ю., Оже Т., Оржеваль Ж.-Ж., Татарко Н. И.* Сульфидные месторождения в ультрамафитах уральского палеоокеана // *Металлогения древних и современных океанов*–2000. Открытие, оценка, освоение месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 53–57.

4. *Контарь Е. С., Либарова Л. Е.* Металлогения меди, цинка и свинца на Урале. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 233 с.

5. *Минералы* // *Справочник*. Т. II. Вып. 3. М.: Наука, 1967. С. 81–88.

6. *Плаксенко А. Н.* Типоморфизм акцессорных хромшпинелидов ультрамафит-мафитовых магматических формаций. Воронеж: Воронеж. Ун-т, 1989. 223 с.

7. *Порошин Е. Е.* Петрология геосинклинальных базальтоидов тагило-магнитогорского синклиория. Автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук Ленинград. 1987. 18 с.

8. *Сазонов В. Н.* Хром в гидротермальном процессе // *Уральская летняя минералогическая школа*–1997. Екатеринбург: УГГА, 1997. С. 76–80.

9. *Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете*. М.: Недра, 1988. С. 397–398.